פרק 1 – יחידות

הפיזיקה היא מדע מדויק, כלומר מדע המבוסס על מדידות כמותית מדויקות עבור הגדלים הקשורים לתופעה הפיזיקלית הנחקרת, וזאת על מנת למצוא קשרים מתמטיים בין גדלים אלה, קשרים המבטאים, בין היתר, חוקים פיזיקליים. על מנת שנוכל לבצע מדידות יש צורך במכשירי מדידה מתאימים וביחידות מדידה. בפרק זה נגדיר את תהליך המדידה, את מכשירי המדידה ואת יחידות המדידה.

1. יחידות, מדידה ומכשירי מדידה

הגדרות:

1. יחידות הן גדלים בסיסים מוגדרים היטב, שקיימת לגביהן הסכמה רחבה, המשמשות לבטא את הגדלים הפיזיקליים באופן כמותי. ערכו של גודל פיזיקלי ביחידה מסוימת מבטא את מספר הפעמים בו יחידה זו חוזרת על עצמה בגודל פיזיקלי זה.
2. מדידה היא תהליך שבמהלכו מוצאים את מספר הפעמים שבו יחידת המדידה חוזרת על עצמה בגודל הפיזיקלי הנמדד, וזאת על ידי שימוש במכשיר מדידה.
3. מכשיר המדידה הוא מכשיר שבאמצעותו מוצאים את מספר הפעמים שיחידת המדידה חוזרת על עצמה בגודל הנמדד.

לדוגמה, היחידה הבסיסית למדידת האורך היא המטר. אם רוצים למדוד את אורך החדר ביחידה זו, אנו מתכוונים למצוא את מספר הפעמים בו יחידת המטר חוזרת על עצמה לאורך החדר. דבר זה מתבצע באמצעות מכשיר מדידה. כמו לכל גודל פיזיקלי אחר, קיימים גם למדידת האורך מספר מכשירי מדידה. הפשוט מבניהם הוא המטר שנקרא גם "סרט מידה" (ראה איור 1). מכשיר זה מורכב מסרט (עשוי ממתכת גמישה או מחומר פלסטי גמיש), המחולק ליחידת המטר וחלקיו. על ידי מתיחת הסרט בין קצוות החדר לאורכו, ניתן למצוא את מספר הפעמים בו המטר חוזר על עצמו לאורך החדר.

איור 1: סרט מידה

איור 2: מאזני כפות

באופן דומה, יחידת המסה היא הקילוגרם. אם רוצים למדוד את מסתו של גוף מסוים, אנו מתכוונים למצוא את מספר הפעמים בו יחידת הקילוגרם חוזרת על עצמה במסת הגוף, וזאת על ידי שימוש במכשיר המיועד למדידת מסה. אחד המכשירים למדידת מסה הוא מאזני כפות (איור 2). מניחים את הגוף על אחת מכפות המאזניים, ועל הכף השנייה מניחים יחידות קילוגרם מדודות (וחלקיו, אם יש צורך) עד שהמאזניים מתאזנים. בכך נוכל למצוא את מספר הפעמים שהקילוגרם חוזר על עצמו במסת הגוף.

2. יחידות מדידה ומערכת היחידות הבינלאומית

על מנת שנוכל לבצע מדידות מדויקות ועל מנת שתוצאות המדידות יהיו מובנות לכל האנשים שקוראים מדידות אלה, יש צורך בהגדרה מדויקת של יחידות המדידה מצד אחד, ויש לדאוג לכך שהגדרות אלה יהיו מוסכמות על כל הקהילה המדעית (והעמים בכלל) מצד שני.

הצעד הראשון בכיוון זה נעשה בצרפת בשנת 1790, שם הוגדרה המערכת המטרית ליחידות המבוססת על היחידות הבסיסיות הבאות: המטר למדידת אורך, הקילוגרם למדידת מסה והשנייה למדידת זמן. מערכת יחידות זו התפשטה במהירות לשאר המדינות בגלל שבמערכת זו המעבר בין כל יחידה ובין חלקיה או הכפולות שלה, הוא קל מאוד, כפי שנראה בהמשך.

בכנס מדעי בינלאומי שנערך בצרפת בשנת 1960 אימצו המדענים את המערכת המטרית ליחידות, כך שהגדירו את היחידות במערכת זו מחדש וגם הוסיפו הגדרות ליחידות חדשות. מערכת היחידות שסוכם עליה בכנס זה ושרוב העולם משתמש בה עד היום, נקראת מערכת היחידות הבינלאומית (International System), ומסומנת באותיות SI מהצרפתית (Syste′me Internationale). במערכת היחידות הבינלאומית הוגדרו היחידות של הגדלים הבאים בפיזיקה:

1. האורך.
2. המסה.
3. הזמן.
4. הזרם החשמלי.
5. הטמפרטורה.
6. כמות החומר.
7. עוצמת ההארה.

היחידות של גדלים אלה נקראות יחידות בסיסיות, כי היחידות של כל שאר הגדלים הפיזיקליים (לדוגמה, מהירות תאוצה, כוח, שדה מגנטי, שדה חשמלי ועוד), בנויות מהיחידות הבסיסיות.

נגדיר להלן רק את היחידות של שלושת הגדלים הראשונים, חלקיהן והמכפלות שלהן. לגבי ההגדרות של יחידות שאר הגדלים – סביר להניח שתתקל בחלקן או ברובן בעתיד.

2.1 יחידות האורך

אורכו של גוף מסוים מוגדר כמרחק בין שתי נקודות הנמצאות בקצוות הגוף. האורך מסומן בדרך כלל באות ℓ מהלועזית length. יחידת האורך במערכת היחידות הבינלאומית היא המטר. יחידה זו מסומנת באות m מהמילה meter, והיא הוגדרה לראשונה בצרפת ב-1790 באופן הבא:

המטר מוגדר כחלק ה-10,000,000 של המרחק על כדור הארץ בין הקוטב הצפוני וקו המשווה לאורך קו האורך העובר מפריז.

לשם מציאת גודלו של המטר על פי הגדרה זו, נשלחו שתי משלחות מצרפת, אחד לכיוון הקוטב הצפוני, ואחת לכיוון קו המשווה במטרה למדוד, כאמור, את המרחק בין הקוטב הצפוני וקו המשווה לאורך קו האורך העובר מפריז. על מנת לשמור את תוצאת המדידה שהתקבלה במדידה זו (המטר), הגודל שהתקבל במדידה סומן על מוט העשוי מפלטין ואירידיום הנשמר עד היום במוזיאון של היחידות בפריז בתוך כלי עשוי זכוכית.

מכיוון שהמרחק בין שתי נקודות על מוט יכול להשתנות עקב תנאים סביבתיים שונים (לחץ, טמפרטורה), המטר הוגדר לאחר מכן מחדש מספר פעמים, בהגדרות חלופיות שמטרתן הייתה להגדיר את המטר באופן מוחלט, שאינו תלוי בגורמים סביבתיים. ההגדרה המקובלת כיום למטר היא הגדרה שנקבעה ב-1983:

המטר הוא המרחק שעובר האור בריק תוך פרק זמן שגודלו $(1/29,9792,458)\,s$.

הגדרה זו מבוססת על כך שלמהירות האור בריק גודל קבוע שערכו $29,9792,458\,m/s$. למטר יש חלקים וכפולות. בטבלה הבאה מוצגים אחדים מהחלקים ומהכפולות של המטר:

כפולות המטר		חלקי המטר	
קילומטר	$km=10^{3}\,m$	דציטמטר	$dm=10^{-1}\,m$
מגהמטר	$Mm=10^{6}m$	סנטימטר	$cm=10^{-2}\,m$
גיגהמטר	$Gm=10^{9}m$	מילימטר	$mm=10^{-3}\,m$
		מיקרומטר	$\mu m=10^{-6}\,m$
		ננומטר	$nm=10^{-9}m$
		פיקומטר	$pm=10^{-12}m$

רואים שהחלקים והכפולות של המטר בנויים על המערכת העשרונית. כלומר המעבר בין החלקים השונים של המטר מתבצע על ידי כפל או חילק ב-10 או כפולותיו, ודבר זה מקל מאוד את המעבר בין היחידות השונות במערכת יחידות זו. זה אחד מהיתרונות החשובים של מערכת היחידות הבינלאומית (SI).

2.2 יחידות המסה

קיימות כיום הגדרות שונות של המסה, כשההגדרה המקובלת במכניקה היא שהמסה של גוף מסוים הוא גודל המבטא את מידת התנגדות הגוף לשינוי במהירותו. משמעות הגדרה זו תתברר בפרק 7, כאשר נדון בקשר בין כוח, תאוצה ומסה.

המסה מסומנת באות m מהלועזית mass. היחידה הבסיסית למסה, שנבחרה לראשונה בצרפת בשנת 1790 היא הקילוגרם המסומן ב-kg. במערכת היחידות הבינלאומית SI משתמשים ביחידה זו עבור המסה גם כן. הקילוגרם הוגדר באופן הבא:

הקילוגרם הוא המסה של ליטר $(1,000\,cm^3)$ של מים מזוקקים בטמפרטורה של 4 מעלות צלזיוס ובלחץ האטמוספרי שבגובה פני הים.

במוזיאון היחידות בפריז קיימת מסה העשויה מפלטין ואירידיום השווה לקילוגרם אחד הנשמרת בתוך כלי זכוכית. בטבלה הבאה מוצגים אחדים מהחלקים ומהכפולות של הקילוגרם:

כפולות הקילוגרם		חלקי הקילוגרם	
טונה או טון	$ton=10^{3}\,kg$	גרם	$g=10^{-3}\,kg$
קילו טון	$kiloton=10^{6}\,kg$	מיליגרם	$mg=10^{-3}g=10^{-6}\,kg$
מגה טון	$Mton=10^{9}\,kg$	מיקרוגרם	$\mu g=10^{-6}g=10^{-9}kg$
גיגה טון	$Gton=10^{12}\,kg$	ננוגרם	$ng=10^{-9}\,g=10^{-12}\,kg$
		פיקוגרם	$pg=10^{-12}g=10^{-15}\,kg$

2.3 יחידות הזמן

הפילוסוף הרומי אורליוס אוגוסטינוס 430–354 (לספירה) שחי בחלק הצפון אפריקאי של האימפריה הרומית (אלג'יריה כיום), כתב "מהו הזמן? אם לא שואלים אותי מה זה זמן, אני יודע את התשובה במדויק. אבל כששואלים אותי מה זה זמן אני מגלה, ובצער רב, שאני לא יודע לענות בכלל".

בהחלט, כולנו "יודעים" מה זה זמן, "מרגישים" את התקדמותו, רואים את סימני התקדמותו על הגופים והיצורים סביבנו וגם על גופנו. אבל קיים קושי בהגדרת הזמן. ביחסות הפרטית של איינשטיין קיים חיבור בין הזמן למרחב וביחסות הכללית קיים חיבור בין הזמן לכוח הגרביטציה, דבר המקשה עוד יותר את הגדרת הזמן. לכן נסתפק כאן, כמו לגבי שאר הגדלים הפיזיקליים, בהגדרת יחידות הזמן בלבד.

הזמן מסומן באות t מהלועזית time. היחידה הבסיסית למדידת הזמן היא השנייה המסומנת באות s או ב-sec. יחידה זו מוגדרת על סמך אורך היממה השמשית של כדור הארץ.

היממה השמשית מוגדרת כפרק הזמן שחולף מרגע זריחת השמש בנקודה מסוימת במזרח עד לזריחתה שביום למחרת באותה נקודה.

היממה (day) מחולקת ל-24 חלקים שווים, שכל אחד מהם נקרא שעה $(\text{h}-\text{hour})$, השעה עצמה מחולקת ל-60 חלקים שווים שכל חלק נקרא דקה $(\text{min}-\text{minute})$, והדקה מחולקת גם היא ל-60 חלקים שווים שכל חלק נקרא שנייה $(\text{s}-\text{second})$. לכן השנייה מוגדרת באופן הבא:

השנייה היא $\left(\frac{1}{24}\right)\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{60}\right)=\frac{1}{86,400}$ מאורך היממה השמשית של כדור הארץ.

אנחנו יודעים כיום שמחזור סיבוב כדור הארץ סביב צירו אינו קבוע לחלוטין. הוא משתנה במעט במהלך עונות השנה, ובנוסף הוא מתארך לאורך מיליוני שנים. מסיבה זו, מגדירים כיום את השנייה בהגדרה חלופית שנשארת קבועה עם הזמן, וניתן לשחזר אותה בכל עת ללא שינוי בערכה.

ההגדרה החדשה של השנייה מבוססת על שעון מדויק ביותר שקיים והוא השעון האטומי. שעון זה מבוסס על קצב המעבר בין שתי תת רמות האנרגיה של רמת היסוד באטום צסיום $\left({}^{133}_{55}\text{Cs}\right)$. אטום זה מבצע 9,192,631,770 מעברים בין תת רמות האנרגיה של רמת היסוד שלו בשנייה אחת. על כן השנייה מוגדרת היום באופן הבא:

השנייה היא הזמן הדרוש לאטום הצסיום $\left({}^{133}_{55}\text{Cs}\right)$ לבצע 9,192,631,770 מעברים בין שתי תת רמות האנרגיה של רמת היסוד שלו.

בטבלה הבאה מוצגים אחדים מהחלקים ומהכפולות של השנייה:

כפולות השנייה		חלקי השנייה	
$\text{min}=60\,\text{s}$	דקה	$\text{ms}=10^{-3}\,\text{s}$	מילישנייה
$\text{h}=60\text{min}=3,600\text{s}$	שעה	$\mu\text{s}=10^{-6}\,\text{s}$	מיקרו שנייה
$\text{day}=24\text{h}=86,400\text{s}$	יום	$\text{ns}=10^{-9}\,\text{s}$	ננו שנייה
		$\text{ps}=10^{-12}\,\text{s}$	פיקו שנייה

3. מערכת היחידות הבריטית

מערכת היחידות הבריטית היא מערכת היחידות שנהוגה באנגליה ובחלק ממדינות העולם כמו בחלק מהמחוזות בארצות הברית.

במערכת יחידות זו משתמשים ביחידות הבאות למדידת האורך: אינץ' (inch), רגל (feet-ft) ו-מיל (mile). למדידת מסה משתמשים בפאונד (pound). מתקיימים הקשרים הבאים:

1 inch = 2.54cm

1ft = 0.3048m = 30.48cm

$1\,\text{mile} = 1609\,\text{m} = 1.609\,\text{km}$

$1\,\text{pound} = 0.454\,\text{kg}$

במערכת יחידות זו משתמשים בשנייה למדידת הזמן.

4. מעבר בין היחידות במערכת היחידות הבינלאומית

מבחינים בין שני מקרים: הראשון מעבר בין יחידה בסיסית ליחידות המשניות שלה והשני המעבר בין יחידה משנית אחת ליחידה משנית אחרת.

4.1 מעבר מיחידה בסיסית ליחידה משנית או להפך

על מנת לבטא גודל פיזיקלי הנתון על ידי יחידה בסיסית באמצעות היחידות המשניות שלה או להפך, יש לדעת היטב את הקשר בין היחידה הבסיסית והיחידות המשניות של גודל זה. להלן מספר דוגמאות למעברים בין יחידות במקרה זה.

דוגמה 1

חשב את מספר המילימטרים הנמצאים באורך של $0.4\,\text{m}$.

פתרון:

קודם כל יש לרשום את הקשר בין מטר אחד למילימטר שהוא:

$1\,\text{m} = 1{,}000\,\text{mm}$

נכפיל את שני צדי הקשר האחרון ב-0.4 ונקבל:

$0.4\,\text{m} = 0.4 \times 1000\,\text{mm} = 400\,\text{mm}$

דוגמה 2

חשב $30\,\text{cm} = ?\,\text{m}$.

פתרון:

נרשום את הקשר בין סנטימטר למטר, שהוא:

$1\,\text{cm} = \frac{1}{100}\,\text{m}$

נכפיל את הקשר האחרון ב-30 ונקבל:

$30\,\text{cm} = 30 \times \frac{1}{100}\,\text{m} = 0.3\,\text{m}$

דוגמה 3

חשב $0.6\,\text{kg} = ?\,\text{g}$.

פתרון:

נרשום את הקשר בין הקילוגרם והגרם, שהוא: $1\,\text{kg} = 1{,}000\,\text{g}$.

נכפיל את שני צדי הקשר האחרון ב-0.6 ונקבל:

$0.6\,\text{kg} = 0.6 \times 1000\,\text{g} = 600\,\text{g}$

דוגמה 4

חשב $800\,\text{m} = ?\,\text{km}$.

פתרון: נרשום את הקשר בין המטר לקילומטר:

$1\,\text{m} = \frac{1}{1{,}000}\,\text{km}$

נכפיל את שני צדי הקשר האחרון ב-800 ונקבל:

$800\,\text{m} = 800 \times \frac{1}{1000}\,\text{km} = 0.8\,\text{km}$

סיכום:

על מנת לבטא גודל פיזיקלי הנתון על ידי יחידה בסיסית באמצעות היחידות המשניות שלה, או להפך, יש להתקדם לפי הצעדים הבאים:

1. נרשום את הקשר בין היחידה הראשונה והשנייה.
2. נכפיל את שני צדי הקשר המתקבל במספר היחידות של הגודל הנתון.

4.2 מעבר מיחידה משנית אחת ליחידה משנית אחרת

נתחיל מדוגמה: $4\,\text{dm} = ?\,\text{mm}$.

נניח שאיננו יודעים את הקשר בין הדצימטר והמילימטר, אבל אנו ידעים את הקשר בין הדצימטר והמטר, וגם את הקשר בין המטר והמילימטר. מתקיים:

$1\,\text{dm} = 0.1\,\text{m}$ (1)

$1\,\text{m} = 1000\,\text{mm}$ (2)

אם נציב את הקשר (2) בקשר (1) נקבל:

$$1\,\mathrm{dm} = 0.1\left(1000\,\mathrm{mm}\right) = 100\,\mathrm{mm} \qquad (3)$$

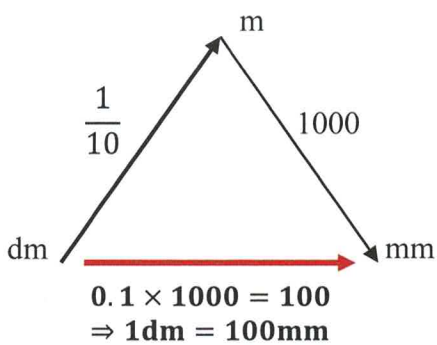
כעת נכפיל את הקשר האחרון ב-4 ונקבל:

$$4\,\mathrm{dm} = 4\times 100\,\mathrm{mm} = 400\,\mathrm{mm} \qquad (4)$$

לכן על מנת לעבור מהצגת גודל ביחידה משנית אחת ליחידה משנית אחרת, מתקדמים בצעדים הבאים:

1. רושמים את הקשר בין היחידה המשנית הראשונה ליחידה הבסיסית.
2. רושמים את הקשר בין היחידה הבסיסית ליחידה המשנית השנייה.
3. משני הקשרים המתקבלים בצעדים הקודמים מקבלים את הקשר בין היחידה המשנית הראשונה לשנייה.
4. מכפילים את הקשר בין היחידות המשניות במספר היחידות הנתון.

לפעמים מבצעים את הצעדים הקודמים באמצעות משולש כפי שמתואר באיור 3.



איור 3: העברת היחידות בעזרת משולש.

על הצלע הראשון (השמאלי) של המשולש רושמים את הקשר בין היחידה המשנית הראשונה ויחידה הבסיסית, על הצלע השני (הימני) רושמים את הקשר בין היחידה הבסיסית ליחידה המשנית השנייה. מכפילים את המספרים המתקבלים על הצלע השמאלית והימנית. התשובה המתקבלת היא הקשר בין היחידה המשנית הראשונה ליחידה המשנית השנייה.

דוגמאות:

דוגמה 1

$400\,\mathrm{mm} = ?\,\mathrm{cm}$

פתרון:

מתקיים:

$$\begin{cases} 1\,\mathrm{mm} = \frac{1}{1000}\,\mathrm{m} \\ 1\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{cm} \end{cases}$$

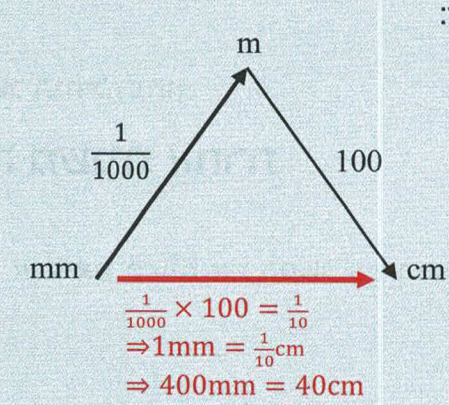
משני הקשרים הקודמים מתקבל:

$$1\,\mathrm{mm} = \tfrac{1}{1000}\times 100\,\mathrm{cm} = \tfrac{1}{10}\,\mathrm{cm}$$

מכאן:

$$400\,\mathrm{mm} = 400\times\tfrac{1}{10}\,\mathrm{cm} = 40\,\mathrm{cm}$$

הפתרון מוצג להלן באמצעות שיטת המשולש גם כן:



דוגמה 2

$0.04\,\mathrm{km} = ?\,\mathrm{cm}$

פתרון:

מתקיים:

$$\begin{cases} 1\,\mathrm{km} = 1000\,\mathrm{m} \\ 1\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{cm} \end{cases}$$

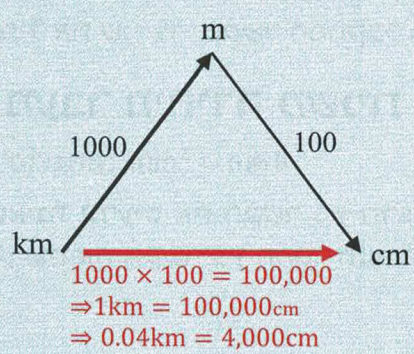
משני קשרים אלה נקבל:

$$1\,\mathrm{km} = 1000\left(100\,\mathrm{cm}\right) = 100{,}000\,\mathrm{cm}$$

נכפיל את הקשר האחרון ב- 0.04 ונקבל:

$$0.04\,\mathrm{km} = 0.04\times 100{,}000\,\mathrm{cm} = 4{,}000\,\mathrm{cm}$$

הפתרון מוצג להלן באמצעות שיטת המשולש גם כן:



5. יחידות השטח

השטח הוא גודלו של תחום מישורי (אזור במישור המוגבל על ידי קו סגור) בהשוואה ליחידת מידה קבועה.

ניתן להגדיר שטח גם לגוף הנדסי תלת ממדי או ליריעה כל שהיא, אבל לא נעסוק בזאת כאן.

השטח מסומן בדרך כלל באות A מהלועזית Area. היחידה הבסיסית של השטח היא המטר מרובע $\left(\mathrm{m}^2\right)$.

המטר המרובע הוא שטח השווה לשטחו של ריבוע שאורך צלעו מטר אחד.

את השטח ניתן לבטא גם ביחידות המשניות של המטר, לדוגמה: km^2 , dm^2 , cm^2 וכדומה. להלן דוגמה למעבר מייצוג שטח ביחידת שטח אחת ליחידת שטח אחרת: $0.25\,\mathrm{m}^2 = ?\,\mathrm{cm}^2$. במקרה זה מתקדמים בצעדים הבאים:

1. רושמים את הקשר בין יחידת האורך הראשונה לשנייה: $1\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{cm}$.
2. מעלים בריבוע את שני צדי הקשר בין יחידות האורך: $\left(1\,\mathrm{m}\right)^2 = \left(100\,\mathrm{cm}\right)^2 = 10,000\,\mathrm{cm}^2$.
3. מכפילים את הקשר בין יחידות השטח במספר היחידות הנתון:

$$0.25\,\mathrm{m}^2 = 0.25\left(10,000\,\mathrm{cm}^2\right) = 2,500\,\mathrm{cm}^2$$

ישנה יחידת שטח שימושית במדידת שטחי חלקות אדמה, והיא הדונם $\left(\mathrm{donom}\right)$ שהיא יחידה תורכית במקור. יש לשים לב שבניגוד ליחידות אחרות, שערכם קבוע ומוגדר חד ערכית, ערכו של הדונם משתנה ממדינה למדינה. בישראל מתקיים:

$$1\,\mathrm{donom} = 1,000\,\mathrm{m}^2 \tag{5}$$

יש לשים לב לכך ש- km^2 שווה ל- $1,000\,\mathrm{donom}$. להלן החישוב:

$$1\,\mathrm{km}^2 = \left(1,000\,\mathrm{m}\right)^2 = 1000,000\,\mathrm{m}^2$$

מכיוון ש- $1\,\mathrm{m}^2 = \left(1/1000\right)\mathrm{donom}$ נקבל מהקשר האחרון:

$$1\,\mathrm{km}^2 = 1000,000\left(\frac{1}{1,000}\,\mathrm{donom}\right) = 1,000\,\mathrm{donom}$$

דוגמאות נוספות:

דוגמה 1

$5\,\mathrm{cm}^2 = ?\,\mathrm{mm}^2$

פתרון:

1. מתקיים: $1\,\mathrm{cm} = 10\,\mathrm{mm}$.
2. $1\,\mathrm{cm}^2 = \left(10\,\mathrm{mm}\right)^2 = 100\,\mathrm{mm}^2$
3. $5\,\mathrm{cm}^2 = 5\times 100\,\mathrm{mm}^2 = 500\,\mathrm{mm}^2$

דוגמה 2

$1000\,\mathrm{m}^2 = ?\,\mathrm{km}^2$

פתרון:

1. $1\,\mathrm{m} = \frac{1}{1000}\,\mathrm{km}$.
2. $1\,\mathrm{m}^2 = \left(\frac{1}{1000}\,\mathrm{km}\right)^2 = \frac{1}{1000,000}\,\mathrm{km}^2$.
3. $1000\,\mathrm{m}^2 = 1000\times\frac{1}{1000,000}\,\mathrm{km}^2 = \frac{1}{1000}\,\mathrm{km}^2$

דוגמה 3

$200\,\mathrm{cm}^2 = ?\,\mathrm{m}^2$

פתרון:

1. $1\,\mathrm{cm} = \frac{1}{100}\,\mathrm{m}$.
2. $1\,\mathrm{cm}^2 = \left(\frac{1}{100}\,\mathrm{m}\right)^2 = \frac{1}{10,000}\,\mathrm{m}^2$.
3. $200\,\mathrm{cm}^2 = 0.02\,\mathrm{m}^2$.

6. יחידות הנפח

הנפח של עצם הוא גודלו של המקום התפוס במרחב על ידי עצם זה.

הנפח מסומן באות V מהלועזית Volume. היחידה הבסיסית של הנפח היא המטר המעוקב $\left(\mathrm{m}^3\right)$.

מטר מעוקב הוא נפח השווה לנפחה של קובייה שאורך צלעה מטר אחד.

את הנפח ניתן לבטא גם ביחידות המשניות של המטר, לדוגמה: km^3 , dm^3 , cm^3 וכדומה. להלן דוגמה למעבר מייצוג נפח ביחידת נפח אחת ליחידת נפח אחרת: $0.25\,\mathrm{m}^3 = ?\,\mathrm{cm}^3$. במקרה זה מתקדמים בצעדים הבאים:

1. רושמים את הקשר בין יחידת האורך הראשונה לשנייה: $1\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{cm}$.
2. מעלים בחזקה 3 את שני צדי הקשר בין יחידות האורך: $\left(1\,\mathrm{m}\right)^3 = \left(100\,\mathrm{cm}\right)^3 = 1{,}000{,}000\,\mathrm{cm}^2$.
3. מכפילים את הקשר בין יחידות הנפח במספר היחידות הנתון:

$$0.25\,\mathrm{m}^3 = 0.25\left(1{,}000{,}000\,\mathrm{cm}^3\right) = 250{,}000\,\mathrm{cm}^3$$

ישנה יחידת נפח שימושית למדידת נפחם של נוזלים והיא הליטר $\left(\mathrm{litre}\right)$ המסומנת באות L או l.

הליטר מוגדר כנפח קובייה שאורך צלעה $10\,\mathrm{cm}$. מכאן:

$$1\,\mathrm{L} = \left(10\,\mathrm{cm}\right)^3 = 1{,}000\,\mathrm{cm}^3 \tag{6}$$

מתקיים:

$$1\,\mathrm{m}^3 = \left(100\,\mathrm{cm}\right)^3 = 1000{,}000\,\mathrm{cm}^3 = 1000{,}000\left(\frac{1}{1000}\,\mathrm{L}\right) = 1000\,\mathrm{L}$$

$$\Rightarrow 1\,\mathrm{m}^3 = 1{,}000\,\mathrm{L}$$

דוגמאות למעבר מיחידת נפח ליחידת נפח אחרת

דוגמה 1

$0.1\,\mathrm{m}^3 = ?\,\mathrm{cm}^3$

פתרון:

1. מתקיים: $1\,\mathrm{m} = 100\,\mathrm{cm}$.
2. מעלים בחזקה 3 את שני צדי הקשר האחרון ומקבלים:

$$1\,\mathrm{m}^3 = \left(100\,\mathrm{cm}\right)^3 = 1000{,}000\,\mathrm{cm}^3$$

3. מכפילים את שני צדי הקשר האחרון ב- 0.1 ונקבל:

$$0.1\,\mathrm{m}^3 = 0.1\left(1000{,}000\,\mathrm{cm}^3\right) = 100{,}000\,\mathrm{cm}^3$$

שים לב שהגודל האחרון שווה ל- $100\,\mathrm{L}$.

דוגמה 2

$5\,\mathrm{cm}^3 = ?\,\mathrm{mm}^3$

פתרון:

1. $1\,\mathrm{cm} = 10\,\mathrm{mm}$.
2. $1\,\mathrm{cm}^3 = \left(10\,\mathrm{mm}\right)^3 = 1{,}000\,\mathrm{mm}^3$.
3. $5\,\mathrm{cm}^3 = 5\left(1{,}000\,\mathrm{mm}^3\right) = 5{,}000\,\mathrm{mm}^3$.

דוגמה 3

$200\,\mathrm{cm}^3 = ?\,\mathrm{m}^3$

פתרון:

1. $1\,\mathrm{cm} = \frac{1}{100}\,\mathrm{m}$.
2. $1\,\mathrm{cm}^3 = \left(\frac{1}{100}\,\mathrm{m}\right)^3 = \frac{1}{1{,}000{,}000}\,\mathrm{m}^3$.
3. $200\,\mathrm{cm}^3 = 200\left(\frac{1}{1{,}000{,}000}\,\mathrm{m}^3\right) = \frac{1}{5{,}000}\,\mathrm{m}^3$.

7. יחידות צפיפות החומר

צפיפות החומר היא המסה שלו ליחידת נפח.

גודל זה מסומן באות היוונית ρ (rho). אם נתון גוף עשוי מחומר אחיד, מסתו m ונפחו V, אז על פי הגדרת הצפיפות נקבל:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{7}$$

על פי הגדרה זו, יחידת צפיפות החומר היא יחידת מסה מחולקת ביחידת נפח. בדרך כלל משתמשים ב- g/cm^3.

לצפיפות החומר יש חשיבות מיוחדת, כי בתנאים קבועים גודל זה קבוע עבור אותו חומר, ושונה מחומר אחד לחומר לאחר. לכן בטבלאות המחזוריות רואים שאחד הערכים המאפיינים את היסודות השונים הוא צפיפות החומר שלהם.

במקרים מסוימים יש צורך לבטא את צפיפות החומר ביחידות kg/m^3 במקום g/cm^3. להלן הקשר ביו יחידות אלה. מכיוון ש- $1\,\text{g} = (1/1000)\,\text{kg}$ ו- $1\,\text{cm}^3 = (1/1{,}000{,}000)\,\text{m}^3$, נקבל:

$$1\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{(1/1{,}000)\,\text{kg}}{(1/1{,}000{,}000)\,\text{m}^3} = 1{,}000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \tag{8}$$

בטבלה הבאה מוצגים ערכי צפיפות החומר עבור חומרים אחדים:

החומר	הצפיפות ביחידות g/cm^3	הצפיפות ביחידות kg/m^3
מים מזוקקים	1	1,000
ברזל	7.874	7,874
נחושת	8.92	8,920
עופרת	11.34	11,340
כספית	13.6	13,600
זהב	19.3	19,300

סיכום פרק 1

1. יחידות הן גדלים בסיסים מוגדרים היטב, שקיימת לגביהן הסכמה רחבה, המשמשות לבטא את הגדלים הפיזיקליים באופן כמותי.
2. ערכו של גודל פיזיקלי ביחידה מסוימת מבטא את מספר הפעמים בו יחידה זו חוזרת על עצמה בגודל פיזיקלי זה.
3. מדידה היא תהליך שבמהלכו מוצאים את מספר הפעמים שבו יחידת המדידה חוזרת על עצמה בגודל הפיזיקלי הנמדד, וזאת על ידי שימוש במכשיר מדידה.
4. בצרפת בשנת 1790, הוגדרה המערכת המטרית ליחידות המבוססת על היחידות הבסיסיות הבאות: המטר למדידת אורך, הקילוגרם למדידת מסה והשנייה למדידת זמן.
5. בכנס מדעי בינלאומי שנערך בצרפת בשנת 1960 אימצו המדענים את המערכת המטרית ליחידות, כך שהגדירו את היחידות במערכת זו מחדש וגם הוסיפו הגדרות ליחידות חדשות. מערכת היחידות שסוכם עליה נקראת מערכת היחידות הבינלאומית ומסומנת באותיות SI מהצרפתית $(\text{Syste'me Internationale})$.
6. אורכו של גוף מסוים מוגדר כמרחק בין שתי נקודות הנמצאות בקצוות הגוף. האורך מסומן בדרך כלל באות ℓ מהלועזית length. יחידת האורך במערכת היחידות הבינלאומית היא המטר ומסומן באות m מהמילה meter. יחידה זו הוגדרה לראשונה בצרפת ב- 1790 באופן הבא: המטר מוגדר כחלק ה- 10,000,000 של המרחק על כדור הארץ בין

הקוטב הצפוני וקו המשווה לאורך קו האורך העובר מפריז.

7. המטר הוגדר לאחר מכן מחדש מספר פעמים, בהגדרות חלופיות שהמטרתן הייתה להגדיר את המטר באופן מוחלט, שאינו תלוי בגורמים סביבתיים. ההגדרה המקובלת כיום למטר היא הגדרה שנקבעה ב-1983: **המטר הוא המרחק שעובר האור בריק תוך פרק זמן שגודלו $(1/29,9792,458)$s**. הגדרה זו מבוססת על כך שלמהירות האור בריק גודל קבוע שערכו $29,9792,458\,m/s$.

8. למטר יש חלקים וכפולות. בטבלה הבאה מוצגים אחדים מהחלקים ומהכפולות של המטר:

כפולות המטר	חלקי המטר
קילומטר $km=10^3\,m$	דצימטר $dm=10^{-1}\,m$
מגהמטר $Mm=10^6 m$	סנטימטר $cm=10^{-2}\,m$
גיגהמטר $Gm=10^9 m$	מילימטר $mm=10^{-3}\,m$
	מיקרומטר $\mu m=10^{-6}\,m$
	ננומטר $nm=10^{-9}m$
	פיקומטר $pm=10^{-12}m$

9. המסה מסומנת באות m מהלועזית mass. היחידה הבסיסית למסה, שנבחרה לראשונה בצרפת בשנת 1790 היא הקילוגרם המסומן ב-kg. במערכת היחידות הבינלאומית SI משתמשים ביחידה זו עבור המסה גם כן. הקילוגרם הוגדר באופן הבא: הקילוגרם הוא המסה של ליטר $(1,000\,cm^3)$ של מים מזוקקים בטמפרטורה של 4 מעלות צלזיוס ובלחץ האטמוספרי שבגובה פני הים.

10. בטבלה הבאה מוצגים אחדים מהחלקים ומהכפולות של הקילוגרם:

כפולות הקילוגרם	חלקי הקילוגרם
$ton=10^3\,kg$ טונה או טון	גרם $g=10^{-3}\,kg$
$kiloton=10^6\,kg$ קילו טון	$mg=10^{-3}g=10^{-6}\,kg$ מיליגרם
$Mton=10^9\,kg$ מגהטון	$\mu g=10^{-6}g=10^{-9}kg$ מיקרוגרם
$Gton=10^{12}\,kg$ גיגהטון	$ng=10^{-9}\,g=10^{-12}\,kg$ ננוגרם
	$pg=10^{-12}g=10^{-15}\,kg$ פיקוגרם

11. הזמן מסומן באות t מהלועזית time. היחידה הבסיסית למדידת הזמן היא השנייה המסומנת באות s או sec. יחידה זו מוגדרת על סמך אורך היממה השמשית של כדור הארץ. היממה (day) מחולקת ל-24 חלקים שווים, שכל אחד מהם נקרא שעה $(h-hour)$, השעה עצמה מחולקת ל-60 חלקים שווים שכל חלק נקרא דקה $(min-minute)$, והדקה מחולקת גם היא ל-60 חלקים שווים שכל חלק נקרא שנייה $(s-second)$. לכן השנייה מוגדרת באופן הבא:
השנייה היא $\left(\frac{1}{24}\right)\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{60}\right)=\frac{1}{86,400}$ מאורך היממה השמשית של כדור הארץ.

12. על מנת לבטא גודל פיזיקלי הנתון על ידי יחידה בסיסית באמצעות היחידות המשניות שלה, או להפך, יש להתקדם לפי הצעדים הבאים: (1) נרשום את הקשר בין היחידה הראשונה והשנייה. (2) נכפיל את שני צדי הקשר המתקבל במספר היחידות של הגודל הנתון.

13. על מנת לעבור מהצגת גודל ביחידה משנית אחת ליחידה משנית אחרת, מתקדמים בצעדים הבאים:
   i. רושמים את הקשר בין היחידה המשנית הראשונה ליחידה הבסיסית.
   ii. רושמים את הקשר בין היחידה הבסיסית ליחידה המשנית השנייה.
   iii. משני הקשרים המתקבלים בצעדים הקודמים מקבלים את הקשר בין היחידה המשנית הראשונה לשנייה.
   iv. מכפילים את הקשר בין היחידות המשניות במספר היחידות הנתון.

14. השטח הוא גודלו של תחום מסוים המוגבל על ידי קו סגור במישור.

15. השטח מסומן בדרך כלל באות A מהלועזית Area. היחידה הבסיסית של השטח היא המטר מרובע (m^2). המטר המרובע הוא שטח השווה לשטחו של ריבוע שאורך צלעו מטר אחד.

16. למעבר מייצוג שטח ביחידת שטח אחת ליחידת שטח אחרת מתקדמים בצעדים הבאים: (1) רושמים את הקשר בין יחידת האורך הראשונה לשנייה. (2) מעלים בריבוע את שני צדי הקשר בין יחידות האורך. (3) מכפילים את הקשר בין יחידות השטח במספר היחידות הנתון.

17. הנפח של עצם הוא גודלו של המקום התפוס במרחב על ידי עצם זה. הנפח מסומן באות V מהלועזית Volume. היחידה הבסיסית

של הנפח היא המטר המעוקב $\left(\mathrm{m}^3\right)$. המטר המעוקב הוא נפח השווה לנפח קובייה שאורך צלעה מטר אחד.

18. למעבר מייצוג נפח ביחידת נפח אחת ליחידת נפח אחרת מתקדמים בצעדים הבאים: (1) רושמים את הקשר בין יחידת האורך הראשונה לשנייה. (2) מעלים בחזקה 3 את שני צדי הקשר בין יחידות האורך. (3) מכפילים את הקשר בין יחידות הנפח במספר היחידות הנתון.

19. ישנה יחידת נפח שימושית למדידת נפחם של נוזלים והיא הליטר (litre) המסומנת באות L או l. הליטר מוגדר כנפח קובייה שאורך צלעה $10\,\mathrm{cm}$. מכאן:
$1\,\mathrm{L}=\left(10\,\mathrm{cm}\right)^3=1{,}000\,\mathrm{cm}^3$.

20. צפיפות החומר היא המסה שלו ליחידת נפח. גודל זה מסומן באות היוונית ρ (rho). אם נתון גוף עשוי מחומר אחיד, מסתו m ונפחו V, אז על פי הגדרת הצפיפות נקבל: $\rho=m/V$. על פי הגדרה זו, יחידת צפיפות החומר היא יחידת מסה מחולקת ביחידת נפח. בדרך כלל משתמשים ב-$\mathrm{g/cm}^3$ או $\mathrm{kg/m}^3$. מתקיים: $1\,\mathrm{g/cm}^3=1{,}000\,\mathrm{kg/m}^3$.

תרגילים ובעיות – פרק 1

1. יחידות, מדידה ומכשירי מדידה

1.

הגדר:

א. יחידות מדידה.

ב. פעולת המדידה.

ג. מכשיר מדידה.

2.

תן דוגמאות ליחידות מדידה של חמישה גדלים פיזיקליים וציין מכשירי המדידה המשמשים למדידת גדלים אלה.

2. מערכת היחידות הבינלאומית

3.

א. מהי מערכת היחידות הבינלאומית?

ב. מהם הגדלים הבסיסיים שעבורם הוגדרו היחידות הבסיסיות במערכת היחידות הבינלאומית.

4.

הגדר:

א. המטר.

ב. הקילוגרם.

ג. השנייה.

4. מעבר בין יחידות במערכת היחידות הבינלאומית

5.

א. נתונים שני גדלים פיזיקליים A ו-B שונים האחד מהשני (הם נמדדים ביחידות שונות). קבע איזה מבין הפעולות המתמטיות הבאות אפשרית בין גדלים אלה:

1) $A+B$.

2) A/B.

3) AB.

4) $A-B$.

ב. מה צריך להיות הקשר בין הגדלים A ו-B על מנת שהפעולות $A+B$ ו-$A-B$, יהיו אפשריות.

6.

חשב:

א. $100\,\mu\mathrm{m}=?\,\mathrm{m}$.

ב. $900\,\mathrm{cm}=?\,\mathrm{m}$.

ג. $6000\,\mathrm{mm}=?\,\mathrm{m}$.

ד. $10^{-3}\,\mathrm{m}=?\,\mu\mathrm{m}$.

ה. $75\,\mathrm{km}=?\,\mathrm{m}$.

ו. $0.06\,\mathrm{m}=?\,\mathrm{mm}$

7.

חשב

א. $100\,\mu\mathrm{m}=?\,\mathrm{mm}$.

ב. $900\,\mathrm{mm}=?\,\mathrm{cm}$.

ג. $6000\,\mu\mathrm{m}=?\,\mathrm{mm}$.

ד. $10^{-3}\,\mathrm{km}=?\,\mathrm{cm}$.

ה. $75\,\mathrm{cm}=?\,\mu\mathrm{m}$.

5. יחידות השטח

8.

א. הגדר שטח.

ב. הגדר יחידות השטח:

1) m^2.

2) km^2.

3) דונם.

9.

חשב:

א. $4\,\mathrm{m}^2=?\,\mathrm{cm}^2$.

ב. $?\,m^2 = 1\,km^2$.

ג. $?\,donom = 1\,km^2$.

ד. $?\,m^2 = 100\,cm^2$.

ה. $?\,cm^2 = 10^{-4}\,m^2$

ו. $?\,cm^2 = 1000\,mm^2$

6. יחידות הנפח

.10

א. הגדר נפח.

ב. הגדר יחידות הנפח:

1) m^3.

2) ליטר.

.11

חשב נפח תיבה שמידותיה $40\,cm$, $30\,cm$ ו-$50\,cm$. בטא את תשובתך ביחידות:

א. cm^3.

ב. m^3.

ג. L.

.12

חשב:

א. $?\,L = 3500\,cm^3$.

ב. $?\,m^3 = 6000\,cm^3$.

ג. $?\,L = 4\,m^3$.

ד. $?\,m^3 = 1000\,cm^3$.

ה. $?\,mm^3 = 4\,m^3$.

ו. $?\,m^3 = 4\,mm^3$.

7. צפיפות החומר

.13

א. הגדר צפיפות חומר.

ב. מהן היחידות של צפיפות החומר. רשום את הקשר בין יחידות אלה.

.14

נתון כדור נחושת שרדיוסו $5\,cm$. חשב את מסתו אם נתון שצפיפות הנחושת היא $8.92\,g/cm^3$.

.15

חשב את הצפיפות של קובייה מתכתית שאורך צלעה $5\,cm$ ומסתה $1750\,g$.

.16

חשב את היחס בין מסות שני כדורים (מלאים) העשויים מחומר זהה, אם נתון שרדיוסו של כדור אחד גדול פי 2 מרדיוסו של הכדור האחר.

.17

נתון שרדיוס כוכב הלכת צדק גדול פי 11 מרדיוס כדור הארץ, ושמסתו גדולה פי 317.5 ממסת כדור הארץ.

א. חשב את היחס בין צפיפות החומר הממוצעת של צדק ובין צפיפות החומר הממוצעת של כדור הארץ.

ב. חשב את צפיפות החומר הממוצעת של צדק, אם נתון שצפיפות החומר הממוצעת של כדור הארץ היא $5.5\,g/cm^3$.

ג. נתון שרדיוס כדור הארץ $6,380\,km$. חשב את מסתו ואת מסת צדק.

שאלות כלליות

.18

א. חשב את מספר השניות בשנה אחת.

ב. חשב את גילך בשניות.

.19

איך ניתן למדוד עובי דף אחד בספר זה. חשב את עובי הדף ביחידות mm ו-μm.

.20

שנת אור (ly) היא יחידת מידה לאורך המשמשת באסטרונומיה לחישוב המרחקים בין גרמי שמים. שנת אור שווה למרחק שהאור עובר בריק במשך שנה אחת (365.25 ימים).

חשב את הגודל של שנת אור אחת בקילומטרים, אם נתון שמהירות האור בריק היא כ-$300,000\,km/s$.